

ÍNDICES DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO

Juan Manuel Martínez, Juan A. Galantini, Fernando López y Matías Duval*



El nitrógeno es el nutriente más limitante para la producción agrícola, especialmente en cereales, y es importante conocer como es su dinámica, para lograr sistemas de productivos sustentables. Es indispensable el correcto diagnóstico de las necesidades para aplicar la cantidad óptima de fertilizante. En las regiones semiáridas y subhúmedas la estimación es más difícil, pudiendo llevar a problemas económicos y/o ambientales.

El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante para la producción de cultivos en las zonas agrícolas (Fageria & Baligar, 2005), especialmente en los cultivos de cereales (Zebarth *et al.*, 2009, Luce *et al.*, 2011) y es importante conocer como es su dinámica, para lograr la sustentabilidad de los sistemas de productivos. Para el manejo eficiente del N es necesario un correcto diagnóstico para así llevar a cabo las recomendaciones de fertilización ajustadas para optimizar la nutrición nitrogenada de los cultivos (Ferrari *et al.*, 2010). En las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas es necesario hacer un diagnóstico correcto de la fertilización ya que los rendimientos son más limitados, por lo que la relación costo-beneficio puede ser alta, lo que lleva a problemas económicos y ambientales (Mulvaney *et al.*, 2001). En estos ambientes frágiles la oferta de N del suelo proviene de la mineralización de N orgánico, residuos de cosecha, enmiendas orgánicas, además del N inorgánico residual de otros años (St. Luce *et al.*, 2011), mientras que en ambientes más propicios climáticamente, ambientes húmedos y templados donde el N proviene casi exclusivamente del que se mineraliza durante la temporada (Zebarth *et al.*, 2009). La mineralización de N del suelo proviene principalmente de la materia orgánica (MO), proporcionando del 50 al 80% de las necesidades de N de los cultivos (Kundu & Ladha, 1995), pudiendo liberar o retener el N, para aumentar la productividad en el corto plazo o la conservación a largo plazo. Las formas orgánicas de N constituyen hasta el 90% del N total en la capa arable de los suelos minerales. A pesar de la gran cantidad de N que se encuentra en el suelo, se estima que sólo del 1 al 3% del total de N orgánico es mineralizado (Keeney, 1982, Curtin & Wen, 1999). Debido a la intensificación de la agricultura producida en los últimos años ha producido un detrimento en el contenido de materia orgánica de los

suelos (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Al mismo tiempo, la implementación de los sistemas de labranza de conservación, tales como siembra directa (SD) ha afectado la capacidad de mineralización de N en el suelo. La SD produce un aumento de la fracción activa de N orgánico como resultado de los residuos de cultivos acumulados en la superficie del suelo (Mikha & Rice, 2004), sin embargo, el efecto neto en esta fracción no es clara, ya que se ha informado de que los aumentos en N orgánico bajo este sistema no siempre están asociados con aumentos en la mineralización de N. En la región semiárida, con suelos de texturas gruesas y bajos niveles de materia orgánica, no existe información disponible sobre la mineralización del nitrógeno proveniente de la descomposición de los residuos y de la materia orgánica del suelo para la aplicación del método de balance de nitrógeno como una herramienta para la recomendación de fertilizantes. Los productores aplican dosis bajas de N, generalmente sin realizar un muestreo de suelos para la evaluación de la fertilidad. Una mejora del rendimiento se podría esperar si se desarrollan estrategias de recomendación de fertilización precisas para la región (Bono & Alvarez, 2013). La mayoría de las estimaciones de la contribución de N por mineralización del suelo se basan en las incubaciones aeróbicas durante largos períodos (Stanford y Smith, 1972). Sin embargo, esta metodología demanda tiempo de procesamiento (Walley *et al.*, 2002) por lo que la investigación se ha centrado en el desarrollo de diferentes métodos biológicos y químicos, rápidos y sencillos para la determinación del potencial de mineralización de N orgánico (Bremner, 1965; Keeney, 1982; Jalil, 1996; Bundy & Meisinger, 1994; Echeverría *et al.*, 1994; Griffin, 2008).

Hay otros métodos, como los métodos de campo para estimar la cantidad de N que puede ser liberada de la OM mediante el balance de masa de N propuesta por Meisinger (1984) y García & Davedere (2007), que se calcula mediante la siguiente ecuación:

Entradas N = N salidas

$N_f + N_a + N_{min} + N_{ii} = N_p + N_g + N_l + N_e + N_{if}$

donde

N_f = N aportado por el fertilizante

N_a = N proporcionada por la fijación y / o la lluvia biológica

N_{min} = N mineralizado de OM

N_{ii} = inicial N inorgánico

N_p = absorción de N por la planta

N_g = N pierde en forma gaseosa (N_2 , N_2O o NH_3)

N_l = N perdió por lixiviación

N_e = N perdido por la erosión

Niin de = N inmovilizada
Nif = cosecha N inorgánico

Para nuestro caso de estudio como se tuvo en cuenta que las pérdidas por las diferentes vías eran = 0, definimos al balance como Mineralización aparente de N:

Mineralización aparente de N (N_{min}) = $N_p + N_{if} - N_{ii} - N_f$

Los ensayos de campo proporcionan la mejor estimación de la disponibilidad de N (Michrina *et al.*, 1981), sin embargo, no hay una metodología ampliamente utilizada, ya que requiere mucho tiempo y trabajo por lo que no es de adopción práctica en los laboratorios de rutina comerciales (García & Davedere, 2007). Los métodos a campo, como el caso de balance de masa de N, a pesar de la desventaja del costo operativo, son esenciales para lograr calibraciones correctas con métodos biológicos y químicos del potencial de N del suelo (Rice & Havlin, 1994). Es decir, el éxito de la predicción de las necesidades de N del cultivo depende en gran medida de la calibración de un índice de N o estimación de N mineralizado medido en ensayos a campo. El objetivo de este trabajo fue de evaluar diferentes índices de disponibilidad de N, sus relaciones y facilitar la predicción mediante el uso de ellos de la mineralización proveniente de la MO de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2010 y 2011 se muestrearon 36 lotes de productores destinados al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) bajo SD, situados en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, dentro de la región subhúmeda. Las características de los sitios y lotes se encuentran en Tabla 1. Los suelos se muestrearon a la siembra y cosecha, en las profundidades de 0-20 y 20- 60 cm y se georeferenciaron. Al final del ciclo se obtuvieron 2 muestras compuestas de 2 m lineales del cultivo, para determinar el rendimiento tanto de la materia seca aérea (MS) como del grano. Sobre el material vegetal se determinó el N total (Nt) mediante el método Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982), a partir del cual se estimó el porcentaje de proteína en grano y el N total en los residuos de cosecha para cuantificar la absorción total de N (kg ha^{-1}). Con respecto a los suelos tomados durante la siembra, se analizaron en los mismos los parámetros químicos: Carbono orgánico total (COT) por combustión seca con analizador automático (Leco), Nt (Bremner & Mulvaney, 1982) y como

parámetros físicos se analizaron: contenido de agua al momento de la siembra y granulometría por tamaño de partículas por fraccionamiento físico (Duval *et al.*, 2013), obteniendo las siguientes fracciones: arenas medias y gruesas; arenas finas y muy finas y la fracción más fina compuesta de limo+arcilla. Además se determinó N inorgánico en forma de N-NO_3^- (Mulvaney, 1996) para las dos profundidades. posteriormente se realizó la conversión de unidades para pasar de g kg^{-1} y mg kg^{-1} a Mg ha^{-1} y kg ha^{-1} respectivamente, utilizando una densidad aparente promedio para todos los sitios de 1,3. Esto nos permitió realizar el balance de N, y así calcular mediante el método del balance propuesto por Meisinger (1984) el N proveniente de la MO (Nmin), asumiendo que las pérdidas fueron nulas, mediante la diferencia entre el N inicial y el N final sumado el N absorbido por la planta a la cosecha.

Tabla 1. Características de los sitios seleccionados

Locación	n=36	Clasificación suelo	Cultivo antecesor	Temperatura			Precipitaciones	
				°C			Anual	Ciclo cultivo
				Media	max	min		
Tornquist 1	9	Argiudol Típico	<i>Trigo (44)</i> <i>Girasol (44)</i> <i>Soja (12)</i> <i>Cebada(40)</i>	14,5	20,9	8,2	740	417
Tornquist 2	5	Argiudol Típico	<i>Girasol (40)</i> <i>Avena (20)</i>	14,3	20,7	8,0	756	388
Tornquist 3	4	Argiudol	<i>Trigo (50)</i> <i>Girasol (25)</i> <i>Virgen (25)</i>	14,5	20,9	8,2	741	497
Tornquist 4	2	Argiudol Típico	<i>Girasol (100)</i>	14,4	20,8	8,0	753	535
El Pérdido	5	Argiudol	<i>Trigo (60)</i> <i>Cebada (40)</i> <i>Cebada (52)</i>	14,7	20,9	8,4	726	349
El Pérdido	7	Argiustol	<i>Girasol (12)</i> <i>Avena(12)</i> <i>Trigo (24)</i>	14,7	20,9	8,4	726	354
Pigué	4	Argiudol	<i>Soja (100)</i>	13,8	20,2	7,5	800	464

Con respecto a los índices de N_o , se usaron dos métodos, uno biológico y otro químico con los suelos de la profundidad 0-20 cm. El primero se basa en una incubación anaeróbica (Nan) de suelo a 40°C durante 7 días (Waring & Bremner 1964). El método químico (Nqco) consiste en una digestión caliente con KCl 2 N a 100°C durante 4 hs y luego una destilación por arrastre de vapor del digesto obtenido (Gianello & Bremner,

1986). Luego se convirtieron los valores a cantidades con la metodología descripta anteriormente. Los valores resultantes por ambas metodologías se compararon con los valores de Nt obtenidos para estimar el porcentaje de mineralización del N orgánico.

La estadística descriptiva, las correlaciones de Pearson y las regresiones múltiples fueron desarrolladas con el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación del N mineralizado por el método del balance (N_{min}) y los índices, tanto químicos como biológicos evaluados son presentados en la Tabla 2. Para el N_{min} los valores medios oscilaron entre 56,1 hasta 168,7 kg ha⁻¹, con máximos de 231,2 y mínimos de 26,2 kg ha⁻¹. El N_{an} osciló entre 80,5 y 185,3 kg ha⁻¹, con máximos de 201,4 y mínimos de 44,1 kg ha⁻¹. Estos valores oscilan entre 27,9 y 212,9 kg ha⁻¹ o 10,1 y 81,9 mg kg⁻¹, encontrándose en el rango citado por otros autores (Schomberg *et al.*, 2009; Reussi Calvo *et al.*, 2009). Con respecto al indicador químico el rango de valores medios varió entre 43,3 y 97,9 kg ha⁻¹ con valores máximos de 131 y mínimos de 18,8 kg ha⁻¹, asemejándose a lo hallado por Wang *et al.* (2001), sin embargo fueron superiores a los hallados por Schomberg *et al.* (2009). El índice más variable en promedio de todos los sitios fue el N_{min} diferenciándose el coeficiente de variación (cv) más alto para “El Perdido” (cv= 0,77). Este mismo sitio mantuvo elevados los cv para todos los índices evaluados. El N_{qco} demostró el menor coeficiente de variación promedio de todos los sitios. Entre los métodos N_{min} , N_{an} , N_{qco} , el más representativo en promedio con respecto al Nt fue el $N_{an} > N_{min} > N_{qco}$ con valores medios de 2,6%, 2,5% y 1,6%, respectivamente, en concordancia a lo hallado por Keeney (1982) que ubicó el rango de N orgánico que se mineralizaba entre 1 y 3%.

Se encontraron estrechas relaciones ($p < 0.01$) del N_{min} tanto con N_{an} como con Nt, con valores inferiores respecto al N_{qco} . Para este último, las correlaciones con el índice N_{an} como con Nt fueron muy similares ($r = 0,54-0,56$) siendo inferiores a los reportados por Schomberg *et al.* (2009) que trabajaron sobre nueve sitios en el sudeste de EE.UU. Para el índice biológico se observó una relación elevada con el N orgánico ($r = 0,79$), valores cercanos a los hallados por Wang *et al.* (2004) y coincidentes a los informados por Fox & Piekieleck (1984) en ensayos de fertilización en Pensilvania.

Tabla 2. Valores por sitio de los índices propuestos.

Sitios	N _{min}				N _{an}				N _{qco}				N _t			
	kg ha ⁻¹												Mg ha ⁻¹			
<i>n</i> =36	<i>media</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>cv</i>	<i>media</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>cv</i>	<i>media</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>cv</i>	<i>media</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>cv</i>
Tornquist 1																
9	79.2	43.6	144.5	0.47	89.8	42.8	196.0	0.60	53.6	36.9	73.7	0.23	3.77	2.55	5.09	0.23
Tornquist 2																
5	96.7	57.5	150.1	0.49	119.0	78.3	197.2	0.41	68.5	57.7	87.4	0.18	4.21	2.94	5.77	0.25
Tornquist 3																
4	130.4	67.6	126.5	0.25	118.0	99.5	201.4	0.10	97.9	51.0	88.6	0.07	4.38	4.24	4.55	0.09
Tornquist 4																
2	102.7	107.6	153.2	0.26	134.4	109.8	126.2	0.36	73.6	93.4	102.5	0.23	4.59	4.29	4.89	0.03
El Perdido																
5	56.1	26.6	131.6	0.77	70.5	44.1	137.1	0.56	57.4	27.5	131.0	0.73	3.00	2.36	4.63	0.31
El Perdido 2																
7	108.4	48.9	187.4	0.32	121.8	70.4	191.7	0.30	43.3	18.8	73.7	0.38	3.90	2.89	5.11	0.21
Pigue																
4	168.7	116.4	231.2	0.28	185.3	149.2	200.8	0.13	93.3	69.2	118.3	0.24	5.80	4.65	6.76	0.15

N_{\min} , Mineralization aparente de N (kg ha^{-1}); N_{an} , nitrógeno anaeróbico (kg ha^{-1}); N_{qco} , nitrógeno químico (kg ha^{-1}); N_{t} , nitrógeno total (Mg ha^{-1}).

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre la mineralización aparente y los índices de disponibilidad de nitrógeno.

	N_{\min}	N_{qco}	N_{an}	N_{t}
N_{\min}	1	***	***	***
N_{qco}	0.63	1	**	**
N_{an}	0.76	0.54	1	***
N_{t}	0.71	0.56	0.79	1

N_{\min} , Mineralización aparente de N (kg ha^{-1}); N_{an} , nitrógeno anaeróbico (kg ha^{-1}); N_{qco} , nitrógeno químico (kg ha^{-1}); N_{t} , nitrógeno total (Mg ha^{-1}).

***, **, *, ns; indican diferencias significativas al 0.001, 0.01, 0.05 y no significativas.

Gallagher & Bartholomew (1964) encontraron que las predicciones de disponibilidad de N eran más precisas cuando se combinaban los índices de N con las propiedades edáficas, por lo que se analizaron las regresiones múltiples de la predicción de N_{\min} incorporando todas las variables del suelo e índices estudiados (10 variables) de las cuales el modelo Stepwise seleccionó 5. Esto nos permitió aumentar la predicción del N_{\min} hasta un R^2 ajustado de 0,73 (Tabla 4), siendo superior a lo descrito por Dessureault-Romppe *et al.* (2010) que integrando parámetros edáficos y climáticos pudo

lograr un 63% de explicación del N mineralizable por método aeróbico para suelos de Canadá. Esto nos permite observar el efecto altamente significativo del indicador biológico y también de las fracciones granulométricas especialmente las arenas gruesas y medias. Esto coincide a lo concluido por Hassink et al. (1993) que informaron una mayor mineralización neta de la MO en los suelos arenosos con respecto a los arcillosos.

Tabla 4. Regresión múltiple entre la mineralización aparente, índices de mineralización y parámetros edáficos.

Variable dependiente	n	Variable	Parámetro estimado	Error estándar	p-valor	R ²	Adj R ²
N _{min}	36	constante	-8.06	48.72	0.8697		
		Nan	0.51	0.10	<0.001		
		Nhid	0.47	0.24	0.0576		
						0.77	0.73
		AG	2.91	0.84	0.0017		
		AF	-1.49	0.77	0.0613		
		Ppb	0.11	0.06	0.0930		

N_{min}, Mineralización aparente de N; Nan, nitrógeno anaeróbico; N_{qco}, nitrógeno químico; AG, Arenas medias y gruesas (fracciones granulométricas mayores a 100 µm); AF, Arenas finas (fracciones granulométricas entre 50 y 100 µm); Ppb, Precipitaciones barbecho, registradas desde comienzo de barbecho hasta siembra.

El análisis de componentes principales resultó en una explicación total de la variación del 62.7%. El componente principal (CP) 1 fue el que más explicó esta variación y se encontró altamente influenciado por muchas de las variables estudiadas (Figura 1), donde encontramos principalmente a las fracciones granulométricas, que nos demuestran la gran importancia de estas en estos procesos biogeoquímicos. Otros

autores (Balesdent et al., 1992; Hassink, 1994; Dessureault-Rompré et al., 2010) han demostrado la importancia de la textura en los procesos de mineralización, asociados principalmente a la protección física de la MO que se produce en suelos más finos. Hassink (1995) concluyó que la textura del suelo determina la proporción de cada tipo de material orgánico y que los suelos arenosos tienen la materia orgánica fácilmente descomponible

El CP 2 está explicado básicamente por 3 variables de mayor influencia, siendo la relación C:N, el N de la fracción particulada mayor a 100 μm y el COPt. Esto nos estaría explicando la importancia de de estas fracciones lábiles y su dinámica en SD en el proceso de mineralización.

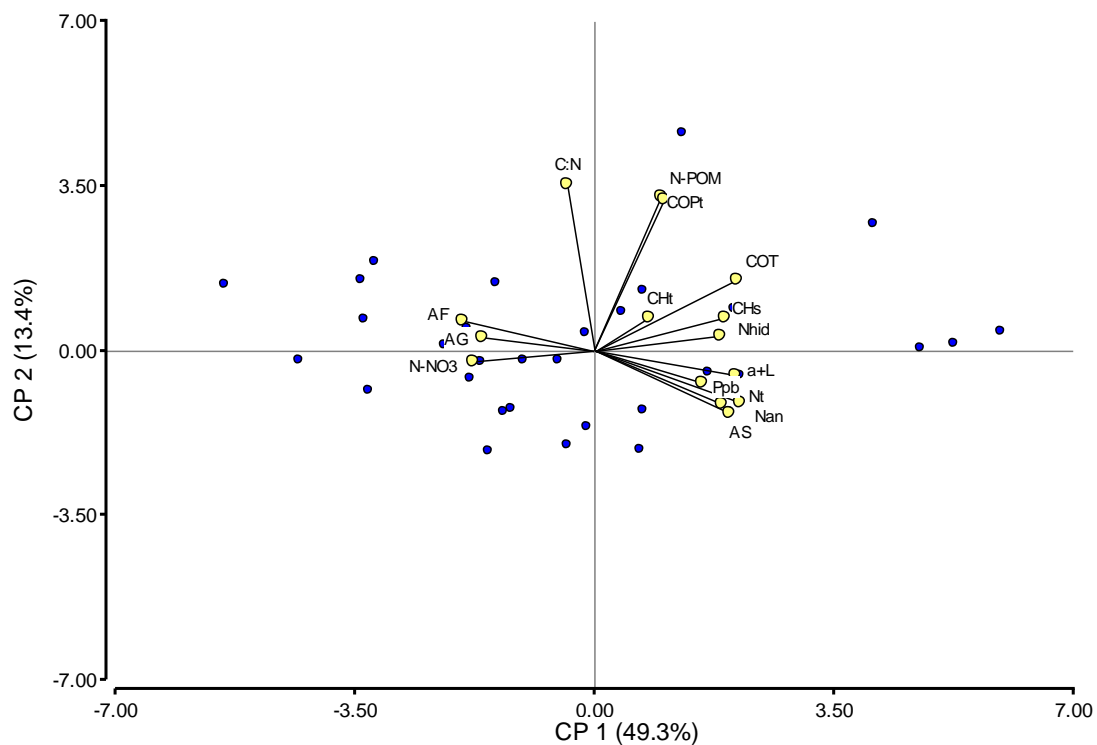


Figura 1. Análisis de componentes principales de las variables utilizadas.

CONCLUSIONES

El indicador biológico (Nan) demostró ser el que mejor explica la mineralización aparente de N, sin embargo, para mejorar el ajuste del Nan es necesario incluirlo en regresiones múltiples con otros índices y parámetros tanto edáficos como climáticos. En los suelos estudiados, las fracciones granulométricas tienen gran importancia en los procesos de mineralización de suelo.

En el sudoeste bonaerense, integrando el Nan con otros parámetros podemos predecir de buena manera la mineralización aparente de N.

Para las condiciones particulares de los sitios evaluados, es importante conocer todos los factores que pueden afectar la mineralización de N de la MO, para poder hacer un uso eficiente de fertilizantes cuando se lo requiera, disminuyendo las consecuencias ambientales y económicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID, a Profertil S.A. y al proyecto BIOSPAS (BID 1728 OC-AR PAE 36976 / PID 53).

BIBLIOGRAFÍA

- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res* 53: 215-230.
- Bono, A. & R. Alvarez. 2013. Nitrogen mineralization in a coarse soil of the semi-arid Pampas of Argentina. *Arch of Agron and Soil Sci.* 59(2):259-272.
- Bremner J.M. & C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: Page et al. (Eds.) *Methods of Soils Analysis. Part 2. Agronomy 9.* 2nd edition. Madison. Wisconsin. USA. Pp. 595-624.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen... in: CA Black & DD Evans (eds.) *Methods of soil analysis. Vol. 2.* American Society of Agronomy, Inc. Madison, USA. Pp. 1149-1178.
- Bundy, L.G. & J.J. Meisinger. 1994. Nitrogen availability Indices. In: Weaver RW et al. (Eds.). *Methods of soil Analysis. Part 2, Microbiological and Biochemical Properties N° 5.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 951-984.
- Curtin, D. & G. Wen. 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 410-415.
- Dessureault-Rompré, J., Zebbarth, B.J., Burton, D.L., Sharifi, M., Cooper, J., Grant, C.A., Drury, C.F. 2010. Relationships among mineralizable soil nitrogen, soil properties, and climatic indices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1218-1227.
- Dessureault-Rompre, J.; B.J. Zebbarth; D.L. Burton; M. Sharifi; J.M. Cooper; C.A. Grant. 2010. Relationships among mineralizable soil nitrogen, soil properties, and climatic indices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1218–1227.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C.W. Robledo. 2008. *InfoStat versión 2008.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; S. Canelo; J.M. Martinez; L. Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131: 11–19.

- Echeverría, H.; R. Bergonzi; J. Ferrari. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ci. Suelo* 12: 56-62.
- Fageria N.K. & V.C. Baligar. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.
- Ferrari, M.; H. Castellarín; H.R. Saiz Rozas; H.S. Vivas; R.J.M. Melchiori, & V. Gudelj. 2010. Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la región pampeana. *Actas CD-rom. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. El Suelo: Pilar de la agroindustria en la pampa argentina*, Rosario, Santa Fe, AACCS.
- Fox, R.H. & W.P. Piekielek. 1984. Relationships among anaerobically mineralized nitrogen, chemical indexes, and nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48(5): 1087-1090.
- Gallagher, P.A. & W.V. Bartholomew. 1964. Comparison of nitrate production and other procedures in determining nitrogen availability in southeastern coastal plain soils. *Agron. J.* 56(2): 179-184.
- García F. & I. Daverede. 2007. Diagnóstico para recomendación de fertilización nitrogenada en cultivos de interés económico. En T. Yamada, S. Abadía y G. Vitti (ed.). *Nitrogenio e enxofre na agricultura brasileira*. IPNI Brasil. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. pp. 277-320. ISBN 978-85-98519-03-6.
- Gianello, C. & J.M. Bremner. 1986. Simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 17: 195-214.
- Griffin, T.S. 2008. Nitrogen availability. In J.S. Schepers and W.R. Raun (ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Agron. Monogr. 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison WI. Pp. 616-646.
- Hassink J 1995. Decomposition rate constants of size and density fractions of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1631-1635.
- Hassink, J. 1994. Active organic matter fractions and microbial biomass as predictors of N mineralization. *Eur. J. Agron.* 3:257-265.
- Hassink, J.; L.A. Bouwman; K.B. Zwart; J. Bloem & L. Brussaard. 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57(1): 105-128.
- Jalil, A., C.A. Campbell, J. Schoenau, J.L. Henry; Y.W. Jame, G.P. Lafon. 1996. Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1954-1960.
- Keeney, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: F.J. Stevenson (ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Agron. Monogr. 22.. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. Pp 605-649.
- Keeney, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution.. In F.J. Stevenson (ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. Pp. 605-649.
- Kundu, D.K. & J.K. Ladha. 1995. Enhancing soil nitrogen use and biological nitrogen fixation in wetland rice. *Exp. Agric.* 31(03): 261-278.
- Luce, M.S.; J.K. Whalen; N. Ziadi; B.J. Zebarth. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Adv. Agron.* 112:55-102.
- Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. In R. D. Hauck (ed) *Nitrogen in Crop Production*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA.

- Michrina, B.P.; R.H. Fox & W.P. Piekielek. 1981. A comparison of laboratory, greenhouse, and field indicators of nitrogen availability, *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 519-535
- Mikha, M.M.; C.W. Rice. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 809–816.
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen- Inorganic forms. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods* (D.L. Sparks et al., ed.). SSSA Book Ser. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI. Pp. 1123-1184.
- Mulvaney, R.L.; S.A. Khan; R.G. Hoefl & H.M. Brown. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(4): 1164-1172.
- Rice, C.W. & J.L. Havlin. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations.. In J.L. Havlin et al (ed.) *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendation*. SSSA Spec. Publ. No. 40. SSSA. Madison, WI. Pp. 1–13.
- Sainz Rozas, H., HE Echeverria & H Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ci. Suelo* 29: 29-37.
- Schomberg, H.H.; S. Wietholter; T.S. Griffin; D.W. Reeves; M.L. Cabrera; D.S Fisher; D. M. Endale; J.M. Novak; K.S. Balkcom; R.L. Raper; N.R. Kitchen; M.A. Locke; K.N. Potter; R.C. Schwartz; C.C. Truman; D.D. Tyler. 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1575–1586.
- Stanford, G. & S. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.
- Walley, F.; T. Yates; J.W. van Groenigen & C. van Kessel. 2002. Relationships between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat. *Sci. Soc. Am. J.* 66(5): 1549-1561.
- Wang, W.; C.J. Smith; P.M. Chalk; D. Chen. 2001. Evaluating chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(2): 368-376.
- Wang, W.J.; C.J. Smith & D. Chen. 2003. Towards a standardised procedure for determining the potentially mineralisable nitrogen of soil. *Biol. fertil. Soils* 37(6): 362-374.
- Waring, S.A. & J.M. Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged condition as an index of nitrogen availability. *Nature* 201:951-952.
- Zebarth, B.J.; C.F. Dury; N. Tremlay & A.N. Cambouris. 2009. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Can. J. Soil Sci.* 89: 113–132.

Martínez, J.M.^{1*}; Galantini, J.A.^{1,2}; López, F.¹; Duval, M.¹

¹Cerzos (CONICET); ²Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). Dpto. Agronomía (UNS).

* Autor de contacto: jmmartinez@criba.edu.ar; San Andrés 800 (8000) Bahía Blanca (BA); 0291-4595102